

# Snelle oudjes: Toepassing van Mazure's oplossingen voor eerste effectschattingen van waterhuishoudkundige veranderingen

## 1. Inleiding

In de laatste tijd zijn analytische oplossingsmethoden in de grondwaterhydrologie op de achtergrond geraakt. Ze lijken te zijn verdrongen door numerieke methoden. Dat is niet altijd terecht. Analytische oplossingen kunnen, als ze worden ingezet in combinatie met bijvoorbeeld een spreadsheetprogramma, sneller een indruk geven van effecten van ingrepen in een geohydrologisch systeem dan een numeriek model.



S. VAN DER SCHAAF  
Landbouwniversiteit  
Wageningen

Bovendien kunnen in een vroeg stadium varianten van een te overwegen ingreep aan een eerste toetsing worden onderworpen. Op grond van de uitkomsten kan worden vastgesteld of een vervolgstudie met behulp van een numeriek model zin heeft en zo ja, welke punten daarbij aandacht behoeven. Daarmee kan de studie winnen aan effectiviteit.

De basis van dit artikel is een tweetal oorspronkelijk door Mazure [1936] beschreven oplossingen. Hoewel deze oorspronkelijk waren bedoeld voor het berekenen van kwel in de drooggevallen Wieringermeer, zijn ze op veel andere situaties toepasbaar omdat die – al dan niet met behulp van kunstgrepen en/of bij benadering – zijn te herleiden tot het uitgangspunt van de modellen van Mazure: een slecht doorlatende deklaag met een ingesteld peil op een goed doorlatende ondergrond. Op enkele van zulke situaties wordt onder 2. nader ingegaan; uitbreidingen van de modellen volgen in 3. De uitbreidingen betreffen situaties met – verschillende doorlaatvermogens en verticale weerstanden; – smalle peilcompartimenten. Aan het eind wordt kort ingegaan op toepassingsmogelijkheden.

Bij de auteur zijn tegen inzending van een DOS-geformatteerde 3,5" diskette met gefrankeerde retourenveloppe 123-applicaties (versie 2) van de modellen verkrijgbaar.

## 2. Herleiding tot een tweelagenprofiel

### 2.1. Basisprofiel

Bij de oplossingen van Mazure werd de geohydrologische gesteldheid in de pas drooggevallen Wieringermeerpolder geschematiseerd tot een watervoerend

## Samenvatting

Analytische stromingsmodellen zijn geschikt om snel een eerste indruk te krijgen over waterhuishoudkundige effecten van ingrepen in het kader van verschillende vormen van peilbeheer. In dit artikel worden enkele uitbreidingen gegeven aan bekende Mazure-modellen, waaronder een model met drie peilcompartimenten. Ook worden enkele technieken aangereikt om enige situaties, waarop die modellen ogenschijnlijk geen betrekking hebben, toch voor toepassing geschikt te maken.

pakket van Pleistocene ouderdom en een weerstandbiedende deklaag van afzettingen uit het Holocene. De deklaag heeft opgelegde stijghoogten, nl. het polderpeil en het IJsselmeerpeil. De stijghoogte in het watervoerende pakket wordt via de weerstand van de deklaag beïnvloed door beide peilen. De stroming in de deklaag wordt uitsluitend verticaal en die in het watervoerend pakket uitsluitend horizontaal verondersteld. In feite gaat het om een eendimensionaal of, zo men wil, semi-tweedimensionaal model.

Met behulp van dit type modellen te behandelen stromingsproblemen moeten zich in zo'n tweelagenprofiel afspelen of in een daartoe – eventueel bij benadering – te herleiden situatie. Dit is mogelijk bij:

1. Een freatisch watervoerend pakket met een ontwateringsstelsel, opgevat als een systeem met drainageweerstand en ontwateringsbasis.
2. Een freatisch watervoerend pakket, gelegen op een gedeeltelijk afsluitende laag, waaronder een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket, waarin de stijghoogte door de situatie in het freatische pakket over de beschouwde afstand niet noemenswaard wordt beïnvloed.
3. Een freatisch watervoerend pakket met een dikke onverzadigde zone.
4. Combinaties van 1 en 2 of 2 en 3.

De situaties 1 t/m 4 worden hieronder kort besproken

### 2.2. Freatische watervoerende laag met ontwateringsstelsel

Inpassen van een ontwateringsstelsel is mogelijk door dit voor te stellen als een drainageweerstand met ontwateringsbasis. Een drainageweerstand verdisconteert het gemiddelde effect van een ontwateringsstelsel over het ontwaterde gebied. Hij wordt in de Verklarende Hydrologische Woordenlijst [CHO-TNO, 1986] gedefinieerd als het quotiënt van de opbolling en de specifieke afvoer bij stationaire stroming:

$$c_d = \frac{m}{v_d} \quad (1)$$

waarin

$c_d$  drainageweerstand (d)  
 $m$  opbolling (m)  
 $v_d$  specifieke afvoer ( $\text{md}^{-1}$ )

Fysisch gezien is deze definitie discutabel omdat men zou moeten uitgaan van de gemiddelde in plaats van de grootste hoogte van de grondwaterspiegel boven de ontwateringsbasis. Meestal ligt de gemiddelde stijghoogte echter dicht bij de opbolling  $m$ , zodat verg. (1) voor praktische situaties te verantwoorden is.

Omdat  $m$  met behulp van een drainageformule is te bepalen uit doorlatendheid, laagdikte, drainstraal en specifieke afvoer, kan in principe ook  $c_d$  daaruit worden bepaald. Neem bijvoorbeeld de drainageformule van Hooghoudt voor evenwijdige drains in zijn eenvoudigste vorm:

$$L^2 = \frac{8kdm}{v_d} \quad (2)$$

waarin

$L$  drainafstand (m)  
 $k$  doorlatendheid ( $\text{md}^{-1}$ )  
 $d$  zg. equivalente laagdikte (m)

Substitutie van  $m$  en  $v_d$  in (2) levert een uitdrukking voor  $c_d$  in termen van  $L$ ,  $k$  en  $d$ :

$$C_d = \frac{L^2}{8kd} \quad (3)$$

Zo wordt een drainagesysteem voorgesteld als een deklaag met daarin een vast peil (ontwateringsbasis) en een weerstand tussen watervoerende laag en ontwateringsbasis ter grootte van  $c_d$ .

Verg. (3) kan in de praktijk onverwacht kleine uitkomsten opleveren. Dat kan te maken hebben met anisotrope doorlatendheid door gelaagdheid [Bier *et al.*, 1992].

Het hanteren van de drainageweerstand in een kwelsituatie spreekt niet vanzelf. Een drainageweerstand wordt bepaald op grond van een situatie met neerslag. Die geeft een ander stromingsbeeld dan kwel. In de praktijk blijkt echter, dat het voor de opbolling van de grondwaterspiegel weinig uitmaakt of deze wordt veroorzaakt door neerslag dan wel kwel.



2.3. *Freatisch pakket met daaronder een gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag*  
Het vaste peil en de gedeeltelijk afsluitende laag zitten beneden in plaats van boven. De stroming kan op dezelfde wijze worden berekend als die in een profiel met de gedeeltelijk afsluitende laag bovenin, als verschillen in effect van even grote neerslag- en kwelfluxen verwaarloosbaar zijn. Voorwaarde is dat de beïnvloeding van de stijghoogte in het onderliggende watervoerende pakket over de beschouwde afstand binnen aanvaardbare grenzen blijft. Is dat niet het geval, dan blijft het probleem bij benadering oplosbaar als de stijghoogte in het diepe pakket zich over relatief korte afstand praktisch geheel aanpast aan die in het freatische. Dan kunnen beide pakketten praktisch gezien als één pakket worden beschouwd.

In tussenliggende situaties is een eenvoudige oplossing niet goed mogelijk. Soms kan een compartimentering worden toegepast met behulp van het in 3.4. ontwikkelde drie compartimentenmodel. Andere mogelijkheden voor meerlagenproblemen zijn aangeduid door Ernst [1980]. Een duidelijker uitwerking wordt gegeven door Hemker [1984] of nota 84-02 van Provinciale Waterstaat van Zeeland. Maas en Roelse [1985] beschrijven een softwarepakket voor het rekenen aan meerlagenprofielen, waarvan in Nederland nog steeds exemplaren in omloop zijn.

2.4. *Een freatisch watervoerend pakket met dikke onverzadigde zone*  
In een freatisch watervoerend pakket met dikke onverzadigde zone (bijv. 5 m of meer) is er geen deklaag met een vast peil. Ook is er geen aangelegd ontwateringsstelsel, omdat de noodzaak daartoe

ontbreekt. Toch is ook deze situatie, zij het met een tamelijk grove vereenvoudiging, te herleiden tot een tweelaagenprofiel.

De redenering daarbij is als volgt: in een dik onverzadigd pakket is de verticale fluxdichtheid gemiddeld ongeveer gelijk aan het gemiddelde neerslagoverschot per tijdseenheid. De verticale gradiënt is in principe gemiddeld 1. De onverzadigde verticale doorlatendheid is dan ongeveer gelijk aan het gemiddelde neerslagoverschot. Uit de gemiddelde dikte van de onverzadigde zone (= diepte van de grondwaterspiegel beneden maaiveld)  $D_o$  en de gemiddelde verticale doorlatendheid  $k_v$  is een verticale weerstand af te leiden ( $c = D_o/k_v$ ). De 'ontwateringsbasis' is het maaiveld(!).

Zoals gezegd, is dit een nogal grove benadering. Men heeft echter ook in numerieke modellen voor de verzadigde zone in dit soort situaties niet of nauwelijks beter.

2.5. *Combinaties*  
Combineren van bovengenoemde situaties komt neer op het terugbrengen van een situatie met vier lagen tot een met twee. Er moet zijn voldaan aan eerdergenoemde voorwaarde dat de stijghoogte in het diepste watervoerende pakket niet in belangrijke mate wordt beïnvloed door die in het erboven liggende.

We gaan uit van de analogie met een elektrisch netwerk. De al dan niet fictieve deklaag met verticale weerstand en opgelegd peil (afb. 1a) wordt voorgesteld als een potentiaalbron met potentiaal  $h_d$  in serie met een weerstand  $c_d$ . Hetzelfde gebeurt met het onderliggende gedeeltelijk afgesloten systeem:  $h_k$  is de

stijghoogte in het watervoerende pakket,  $c_k$  de verticale weerstand van de gedeeltelijk afsluitende laag. Beide deelschakelingen hebben het knooppunt P, analoog aan de bovenste watervoerende laag, gemeenschappelijk (afb. 1a'). Voor de schakeling van afbeelding 1a' kan nu een vervangende schakeling worden gevonden met één bron en één weerstand (afb. 1b'). De weerstand  $c_p$  van de vervangingsschakeling is de parallelweerstand van  $c_d$  en  $c_k$  in afbeelding 1a':

$$c_p = \frac{c_d c_k}{c_d + c_k} \tag{4}$$

De vervangende bronpotentiaal  $h_p$  is de potentiaal op punt P bij onbelaste schakeling:

$$h_p = \frac{c_k h_d + c_d h_k}{c_k + c_d} \tag{5}$$

Het analoge vervangende geohydrologische systeem is afgebeeld in afbeelding 1b. Deze transformatie kan ook worden toegepast in situaties met meer dan één drainageweerstand [Bier *et al.*, 1992].

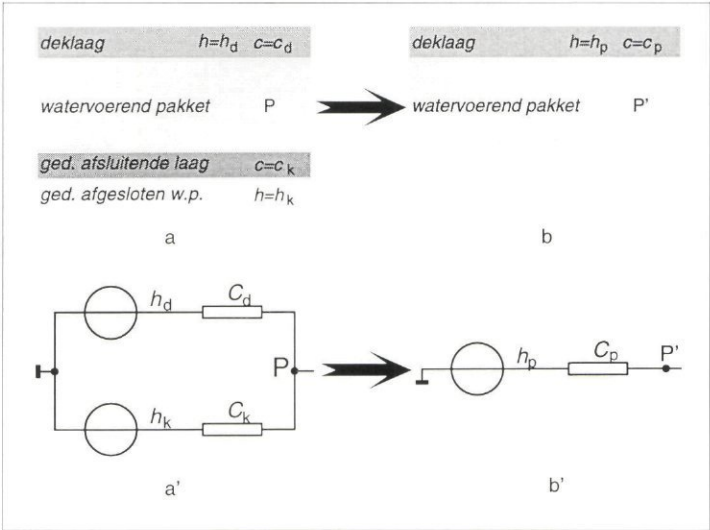
3. De modellen

3.1. *Algemeen*  
We bespreken voornamelijk de stroming tussen peilgebieden met een rechte grens ertussen; voor ronde peilgebieden wordt verwezen naar de literatuur.

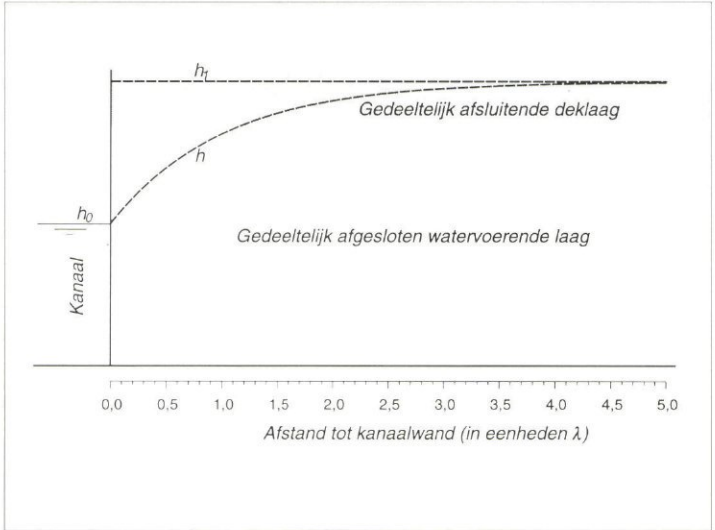
3.2. *Een peilgebied met rechte grens, waarlangs een opgelegd peil*  
De situatie is gevisualiseerd als stroming van/naar een volkomen kanaal (afb. 2). De op te lossen differentiaalvergelijking is:

$$\frac{d^2 h}{dx^2} = \frac{h - h_1}{k D c} \tag{6}$$

Afb. 1 - Transformatie van een vierlaags- naar een tweelaagsprobleem; analogie met elektrisch circuit.



Afb. 2 - Stroming via een gedeeltelijk afgesloten watervoerend pakket naar een volkomen kanaal.



waarin  
 $c$  verticale weerstand van de deklaag (d)  
 $h$  stijghoogte in de watervoerende laag (m)  
 $h_1$  stijghoogte in de deklaag (m)  
 $kD$  doorlaatvermogen watervoerende laag ( $m^2d^{-1}$ )  
 $x$  afstand tot het nulpunt (m)

De uitwerking is onder andere te vinden in Verruijt [1982].

We volstaan hier met de uitkomsten voor de stijghoogte in het watervoerende pakket, kwel/inzijgingsfluxdichtheid en flux naar/van het kanaal.

Het nulpunt voor de afstand  $x$  wordt aangenomen op de kanaalwand.

De oplossing voor  $h$  is

$$h = h_1 - (h_1 - h_0) \exp(-x/\lambda) \tag{7}$$

waarin  
 $\lambda$  zg. spreidingslengte, gelijk aan  $\sqrt{kDc}$  (m)  
 $h_0$  kanaalpeil (m)

Voor de fluxdichtheid tussen deklaag en watervoerend pakket geldt

$$v = \frac{(h_0 - h_1) \exp(-x/\lambda)}{c} \tag{8}$$

waarin  
 $v$  fluxdichtheid (positief bij kwel) ( $md^{-1}$ )

De flux naar/van het kanaal:

$$q = \frac{\beta (h_0 - h_1) \exp(-x/\lambda)}{c} \tag{9}$$

waarin  
 $q$  flux ( $m^3d^{-1}$  per  $m^1$  kanaallengte, dus  $m^2d^{-1}$ )  
 $\beta$   $kD\lambda^{-1} = \sqrt{kDc}^{-1}$  ( $md^{-1}$ )

Voor de flux  $q_0$  door de kanaalwand waar  $x = 0$ , volgt uit (9)

$$q_0 = \beta (h_0 - h_1) \tag{10}$$

3.3. *Twee aangrenzende peilgebieden met rechte grens*  
De oplossing van Mazure omvatte twee gebieden met afzonderlijke peilen en gelijke doorlaatvermogens en verticale weerstanden. Ook Edelman [1983] geeft slechts deze oplossing. Ze is gemakkelijk uit te breiden tot één met ongelijke verticale weerstanden en doorlaatvermogens.

Afbeelding 3 geeft een afbeelding op schaal van het verloop van de stijghoogten tussen twee peilgebieden in een voorbeeldsituatie.

Stel  $x = 0$  ter plaatse van de abrupte sprong in de stijghoogte in de deklaag. Behoudens de stijghoogte  $h$  in de watervoerende laag worden grootheden die betrekking hebben op de situatie links van de grens aangegeven met subscripten '1', die voor de situatie rechts met subscripten '2' en die voor de situatie op de grens met '12'.

Afzonderlijk uitwerken van de linker- en rechterhelft van het stromingsbeeld en vervolgens gelijkstellen van de stijghoogten  $h_{12}$  levert een betrekking voor situaties met ongelijke  $kD$  en/of  $c$  aan weerskanten van de sprong:

$$h_{12} = \frac{\beta_1 h_1 + \beta_2 h}{\beta_1 + \beta_2} \tag{11}$$

Verticale en horizontale fluxdichtheden en fluxen worden voor beide helften berekend volgens (8), (9) en (10), waarbij  $h_0$  wordt vervangen door  $h_{12}$ . en in de linkerhelft  $x$  negatief is.

3.4. *Drie aangrenzende peilgebieden met rechte grenzen*  
De situatie is afgebeeld in afbeelding 4. Het gaat om een peilgebied van beperkte breedte met aan weerskanten een ander peilgebied.

Met uitzondering van de stijghoogte  $h$  in de watervoerende laag zijn grootheden voor de situatie links aangegeven met subscripten '1', die voor het middendeel met subscripten '2' en die voor het rechterdeel met subscripten '3'. Grenssituaties worden evenals in 3.3. weergegeven met gecombineerde subscripten.

De breedte van het middendeel is  $L$ . In het midden van het middendeel geldt  $x = 0$ . De grenzen liggen dus op  $x = -L/2$  en  $x = L/2$ . Eerst worden linker- en rechterdeel behandeld, daarna het middendeel. De oplossing wordt gevonden door combinatie van de drie.

Voor de linkerhelft waar  $x = 0$  geldt de algemene oplossing

$$h_1 - h = C_{a1} \exp(x/\lambda_1) + C_{b1} \exp(-x/\lambda_1) \tag{12}$$

waarin  
 $C_{a1}, C_{b1}$  op te lossen coëfficiënten (m)

De randvoorwaarden zijn:

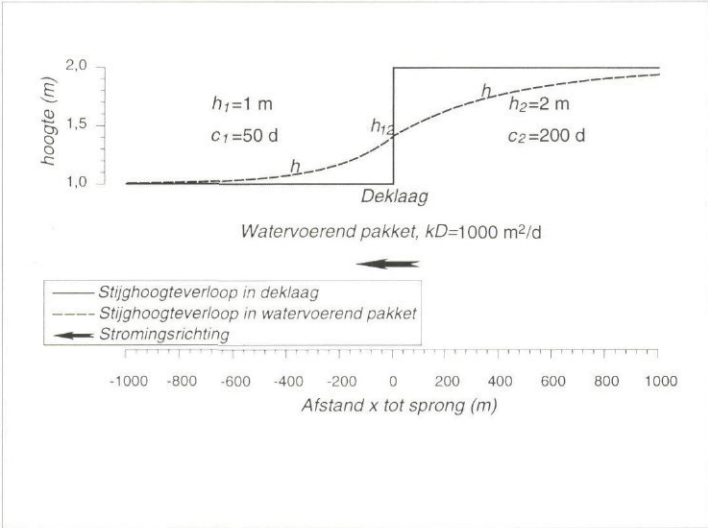
$$h = h_1 \text{ als } x = -\infty \text{ en } h = h_{12} \text{ als } x = -L/2 \tag{13}$$

waarin  
 $h_{12}$  stijghoogte in de watervoerende laag ter plaatse van  $x = -L/2$ .

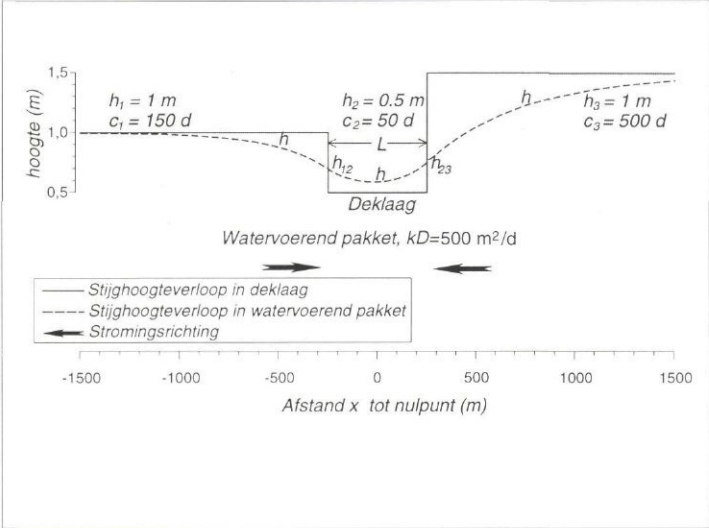
Uit de eerste randvoorwaarde blijkt dat  $C_{b1} = 0$ , zodat

$$C_{a1} = (h_1 - h_{12}) \exp \frac{L}{2\lambda_1} \tag{14}$$

Afb. 3 - Situatie op schaal met potentiaalsprong in deklaag en stijghoogteverloop in watervoerende laag.



Afb. 4 - Situatie op schaal met drie peilcompartimenten in deklaag en stijghoogteverloop in watervoerende laag.





Dat leidt tot uitdrukkingen voor  $h$ ,  $q_1$ ,  $q_{12}$  en  $v_1$ :

$$h = h_1 - (h_1 - h_{12}) \exp \frac{x + L/2}{\lambda_1} \tag{15}$$

$$q_1 = \beta_1 (h_1 - h_{12}) \exp \frac{x + L/2}{\lambda_1} \tag{16}$$

$$q_{12} = \beta_1 (h_1 - h_{12}) \tag{17}$$

$$v_1 = \frac{h_{12} - h_1 \exp \frac{x + L/2}{\lambda_1}}{c_1} \tag{18}$$

waarin  $h_{12}$  onbekend is. Het verschil met (7), (8) en (9) is behalve het teken van  $x$ , dat het rechterlid in (15), (16) en (18) is vermenigvuldigd met  $\exp(L/2)$ . Verg. (17) is identiek aan (10).

Evenzo worden de vergelijkingen van het rechterdeel voor  $h$ ,  $q_3$ ,  $q_{23}$  en  $v_3$  afgeleid. Dat levert:

$$h = h_3 - (h_3 - h_{23}) \exp \frac{x + L/2}{\lambda_3} \tag{19}$$

$$q_3 = \beta_3 (h_{23} - h_3) \exp \frac{x + L/2}{\lambda_3} \tag{20}$$

$$q_{23} = \beta_3 (h_{23} - h_3) \tag{21}$$

$$v_{23} = \frac{(h_{23} - h_3) \exp \frac{L/2 - x}{\lambda_3}}{c_3} \tag{22}$$

Voor het middendeel geldt de algemene oplossing

$$h_2 - h = C_{a2} \exp \frac{x}{\lambda_2} + C_{b2} \exp \frac{-x}{\lambda_2} \tag{23}$$

met randvoorwaarden

$$h = h_{12} \text{ als } x = -\frac{L}{2} \text{ en } h = h_{23} \text{ als } x = \frac{L}{2} \tag{24}$$

Uit (23) en (24) volgen:

$$h_2 - h_{12} = C_{a2} \exp \frac{-L}{2\lambda_2} + C_{b2} \exp \frac{L}{2\lambda_2} \tag{25a}$$

$$h_2 - h_{23} = C_{a2} \exp \frac{L}{2\lambda_2} + C_{b2} \exp \frac{-L}{2\lambda_2} \tag{25b}$$

Terwille van de overzichtelijkheid wordt een hulpvariabele  $u = \frac{L}{2\lambda_2}$  ingevoerd.

Verg. (25a) en (25b) leveren nu de uitdrukkingen voor de coëfficiënten  $C$ :

$$C_{a2} = \frac{h_2 (u^2 - 1) + h_{12} - h_{23} u^2}{u^3 - u^1} \tag{26a}$$

$$C_{b2} = \frac{h_2 (u^2 - 1) + h_{12} u^2 + h_{23}}{u^3 - u^1} \tag{26b}$$

De te vinden onbekenden zijn  $h_{12}$  en  $h_{23}$ . Die worden gevonden door gelijkstelling van de fluxen op de grenzen. Er geldt

$$q_2 = \frac{dh}{dx} kD_2 \tag{27}$$

zodat

$$q_2 = C_{a2} \beta_2 \exp \frac{x}{\lambda_2} - C_{b2} \beta_2 \exp \frac{-x}{\lambda_2} \tag{28}$$

De randvoorwaarden voor (28) zijn nu:

$$q_2 = q_{12} \text{ als } x = -\frac{L}{2} \text{ en } q_2 = q_{23} \text{ als } x = \frac{L}{2} \tag{29}$$

zodat

$$q_{12} = \beta_2 (C_{a2} u^1 - C_{b2} u) \tag{30a}$$

en

$$q_{23} = \beta_2 (C_{a2} u - C_{b2} u^1) \tag{30b}$$

Gelijkstelling van de rechterleden van (30a) en (30b) met die van resp. (16) en (20) levert:

$$\beta_1 (h_1 - h_{12}) = \beta_2 (C_{a2} u^1 - C_{b2} u) \tag{31a}$$

$$\beta_3 (h_{23} - h_3) = \beta_2 (C_{a2} u - C_{b2} u^1) \tag{31b}$$

Substitutie van de coëfficiënten  $C$  door verg. (26a) en (26b) levert expliciete uitdrukkingen op voor  $h_{12}$  en  $h_{23}$ :

$$h_{12} = \frac{\beta_1 (u^2 - u^2) h_1 + \beta_2 (u - u^1)^2 h_2 + 2\beta_2 h_{23}}{\beta_1 (u^2 - u^2) + \beta_2 (u^2 + u^2)} \tag{32a}$$

$$\text{en} \tag{32b}$$
  
$$h_{23} = \frac{\beta_3 (u^2 - u^2) h_3 + \beta_2 (u - u^1)^2 h_2 + 2\beta_2 h_{12}}{\beta_3 (u^2 - u^2) + \beta_2 (u^2 + u^2)}$$

Uit het stelsel (32a) en (32b) zijn  $h_{12}$  en  $h_{23}$  op te lossen door itereren. Bij toepassing in een spreadsheetprogramma inclusief berekening van kwel/inzijging, flux en stijghoogte is de wachttijd op een gangbare machine (386 of beter) te verwaarlozen. De vergelijkingen (26) leveren vervolgens de waarden van de coëfficiënten  $C$  en (23) het verloop van  $h$ . De inzijgings-, resp. kwelfluxdichtheid  $v_2$  wordt tenslotte bepaald volgens

$$v_2 = \frac{C_{a2} \exp \frac{-x}{\lambda_2} + C_{b2} \exp \frac{x}{\lambda_2}}{c_2} \tag{33}$$

waarbij de coëfficiënten  $C_{a2}$  en  $C_{b2}$  worden berekend uit (26).

Van der Molen [1984] geeft een uitkomst voor een situatie met een enkele waarde voor  $c$  en  $kD$  en  $h_1 = h_3$ ; een bijzonder geval van de hierboven beschreven situatie. De uitkomsten van de hier afgeleide betrekkingen zijn na genoemde vereenvoudigingen in overeenstemming met de zijne.

3.5. *Stroming van/naar een rond peilgebied*  
Dit geval wordt hier volledigheidshalve genoemd. Een oplossing wordt door zowel

Huisman [1972] als Edelman [1983] gegeven. Deze is opgenomen in de in de inleiding genoemde 123-applicaties.

4. **Toepassingsmogelijkheden**

De toepassing van de hiervoor ontwikkelde, resp. besproken modellen ligt in effectstudies over hydrologische bufferzones langs natuurgebieden, ontwaterings- en waterconserveringsprojecten, e.d. Er zijn twee belangrijke beperkingen:

- 1. de modellen zijn stationair;
  - 2. de situatie moet zich voor toepassing lenen.
- Onder 2 zijn mogelijkheden aangegeven tot oplossing van laatstgenoemd probleem.

Superpositie kan zinvolle vereenvoudigingen opleveren. Het principe houdt in dat het totale effect van ingrepen en/of situaties de som is van de afzonderlijke effecten. Ingrepen kunnen dan afzonderlijk worden beschouwd ter bepaling van hun effect. Bij verandering van de ontwateringsbasis bijvoorbeeld behoeft alleen die verandering te worden beschouwd. Bij aanpassing van bijvoorbeeld drainage-weerstanden mag superpositie niet worden toegepast omdat de systeemeigenschappen worden veranderd. Het principe wordt uitvoerig behandeld door Edelman [1983].

**Literatuur**

Bier, G., Hoek, D. van der Schaaf, S. van der (Red.) en Spek, T. J. (1992). *Kwel en natuurontwikkeling in het Binnenveld tussen de Neder-Rijn en Veenendaal*. Landbouwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Hydrologie, Bodemnatuurkunde en Hydraulica, Rapport 19.  
CHO-TNO (1986). *Verklarende hydrologische woordenlijst*. Comm. Hydr. Onderz. TNO, Rapporten en nota's No. 16  
Ernst, L. F. (1980). *Water management of nature areas*. ICW Research Digest 1980:62-70. ICW, Wageningen.  
Edelman, J. H. (1983). *Groundwater hydraulics of extensive aquifers*, 2nd. ed. Bull. 13, ILRI, Wageningen.  
Hemker, C. J. (1984). *Steady groundwater flow in leaky multiple-aquifer systems*. J. Hydrol. 72:355-374.  
Maas, K. en Roelse, A. (1985). *Enkele formules voor de stroming van grondwater in meer-lagen-systemen*. H<sub>2</sub>O 18(5):14-15  
Mazure, J. P. (1936). *Kwel- en chloorbezwaar in de Wieringermeer. Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer*. Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken No. 5:67-131. Algemeene Landsdrukkerij, 's-Gravenhage.  
Molen, W. H. van der (1984). *Waterbeheersing. Deel 1. Tekst*. Landbouwhogeschool, Vakgroep Cultuurtechniek.  
Provinciale Waterstaat Zeeland (1984). *De toepassing van matrixfuncties in de geohydrologie. Voordracht ter gelegenheid van de studiedag van de Hydrologische Kring, te houden op 4 oktober 1984*. Onderafdeling waterbeheer, nota 84-02.  
Verruijt, A. (1982). *Groundwater Flow*. 2nd Ed. MacMillan, London/Basingstoke.

